

ИВАНЮК А. И., аспирант кафедры информационных технологий (Украинский государственный университет железнодорожного транспорта),  
КОВАЛЕНКО Т. В., младший научный сотрудник (Институт проблем регистрации информации НАНУ)

## Метод оценки эффективности сегментации текстурных областей изображений

*Дистанционное зондирование земной поверхности обеспечивает уникальные возможности оперативного сбора данных с высоким пространственным, спектральным и временным разрешением. При этом автоматизированная обработка изображений в реальном масштабе времени позволяет эффективно решать научные и прикладные задачи в области картографии, исследования природной среды, океанологии, поиска и освоения полезных ископаемых и во многих других областях. Статья посвящена разработке метода оценки эффективности сегментации текстурных информативных областей изображений, близких по цвету и структуре, полученных в результате аэрофотосъемки. Входными параметрами являются аэрофотоснимок, априорные сведения об областях, которые требуется сегментировать, и метеорологические и навигационно-технические условия аэрофотосъемки. Выходными параметрами являются изображения с локализованными информативными областями.*

**Ключевые слова:** изображение, текстура, пиксель, аэрофотоизображение, цифровая матрица, модели текстур, информационная система, метод, сегментации, эффективность.

### Введение

В настоящее время при изучении природно-территориальных комплексов широко применяется воздушный мониторинг, выполняемый по аэрокосмическим снимкам. Современный термин «мониторинг» обозначает систематическое наблюдение, анализ и оценку состояния окружающей среды, её изменение в ходе естественной эволюции и хозяйственной деятельности человека, а также прогнозирование этих изменений для целей управления и контроля. Автоматизированная обработка изображений земной поверхности позволяет эффективно решать научные и прикладные задачи в области картографии, исследования природной среды, океанологии, поиска и освоения полезных ископаемых, сельского и лесного хозяйства и многих других областях. Исходя из изложенного выше, задача оперативной обработки и оперативного анализа данных воздушного мониторинга является актуальной [1].

### Постановка задачи исследования

Под цифровым аэрофотоизображением будем понимать двумерное цифровое фотографическое изображение, отображающее данные, необходимые пользователю. Цифровые изображения формируются при регистрации сканирующими системами с аэроносителей [2].

Для каждой единицы площади аналогового изображения рассчитывается средняя плотность затенения и ставится соответствующее этой плотности числовое значение. Результатом такой операции является цифровая матрица. Далее цифровая матрица на дисплее преобразуется в видимые элементы изображения – пиксели. Таким образом, видимое изображение складывается из отдельных пикселей, окрашенных в тона шкалы цвета в соответствии с приданными им числовыми значениями [3].

Пиксель цифрового изображения является оптически однородным и внутри его отдельные элементы не выделяются. Геометрические размеры цифрового изображения ограничены характеристиками формирующей системы и параметрами фоторегистрирующей.

Метод сегментации текстурных информативных областей изображений, близких по цвету и структуре, полученных в результате аэрофотосъемки, эффективность которого оценивается в статье, подробно исследован и предложен в [4, 5].

Точность результатов сегментации текстурных областей оценивается ошибкой положения

опознанных контуров относительно их взаимного положения. Полученная точность зависит от точности опознавания полученных границ текстурных областей. В этом случае ошибка опознавания практически равна ошибке обозначения границы объекта. Принято считать, что она составляет +/- 0,15 мм. Полнота результатов дешифрирования изображений характеризует отсутствие пропусков и оценивается как отношение извлеченной информации к содержащейся в снимке.

Наиболее значимым критерием эффективности системы распознавания (дешифрирования) является достоверность результатов распознавания, значение которой в идеале должно стремиться к 100 %. Достоверность результатов характеризует безошибочность дешифрирования, отсутствие ложной информации. Однако на практике обычно существуют ограничения, которые не позволяют увеличивать объем измерительной информации без потери производительности системы распознавания. Поэтому имеет большое значение нахождение оптимума в процессе распознавания, который, с одной стороны, обеспечивает требуемый уровень достоверности, а с другой – высокую производительность [6].

**Критерий эффективности метода сегментации текстурных информативных областей изображений, близких по значениям цвета и структуре**

В качестве критерия эффективности может быть предложена совокупность показателей точности сегментации, достоверности локализованных в результате сегментации областей, ошибок первого и второго рода.

Пусть  $T_s$  – показатель точности сегментации,  $D_s$  – показатель достоверности локализации сегментированных областей, коэффициент пропущенных областей  $K_{пр}$  – показатель ошибки первого рода, коэффициент ложных областей  $K_{ложн}$  – показатель ошибки второго рода,  $Kr_{ef}$  – критерий эффективности сегментации текстурных областей изображений предложенным методом. Тогда  $K_s$  имеет вид (1)

$$Kr_{ef} = (T_s, D_s, K_{пр}, K_{ложн}). \tag{1}$$

Показателем точности сегментации выбран показатель близости между границами тестового идеально сегментированного изображения  $F_{эм}$  и

изображения  $F_{сегм}$ , сегментированного разработанным методом (2)

$$T_s = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (F_{сегм}(x,y) - F_{эм}(x,y))^2}}{P}, \tag{2}$$

где  $P$  – длина границ выделенных сегментов в пикселях,  $m, n$  – размеры изображения. Эталонное изображение задается экспертом в виде специальной формы ввода.

Достоверность локализации характеризует степень соответствия информационного содержания локализованных областей искомым. С целью численной оценки метода применен показатель достоверности локализации (3)

$$D_s = \frac{O_{прлок}}{O_{лок}}, \tag{3}$$

где  $O_{прлок}$  – количество «правильно локализованных» областей, т.е. локализованных текстурных областей, которые являются искомыми,  $O_{лок}$  – общее количество локализованных областей.

Коэффициент пропущенных областей  $K_{пр}$  оценивается в соответствии с выражением (4)

$$K_{пр} = \frac{O_{пр}}{O_{иск}}, \tag{4}$$

где  $O_{пр}$  – количество пропущенных областей,  $O_{иск}$  – общее количество искомых областей. Коэффициент ложных областей  $K_{ложн}$  является показателем ошибки второго рода и оценивается в соответствии с выражением (5)

$$K_{ложн} = \frac{O_{ложн}}{O_{иск}}, \tag{5}$$

где  $O_{ложн}$  – количество ложных областей.

Таким образом, задание критерия эффективности сегментации можно охарактеризовать введенными выше показателями (1) - (5).

**Экспериментальные исследования сегментации текстурных областей изображения**

Обработка изображений разработанным методом производилась в системе Matlab. Для

експериментальної перевірки пропонуємих алгоритмів були розроблені наступні програмні модулі: модуль знаходження структури фрагмента з метою виявлення областей, близьких по структурі; програма розрахунку признака яркості текстурної області; програма розрахунку признака однородності інформативної області; програма підготовки зображення; програма сегментації текстурних областей за статистичними ознаками; програма розрахунку дискретно-косинусного перетворення текстурної області; програма розрахунку середньквадратичного відхилення (СКВ) матриць зображень.

Програми запускалися з вхідним параметром у вигляді тестового зображення і виводили результат обробки на екран. Після цього користувач візуально порівнював отриманий результат з очікуваним (який не формалізований і знаходиться у вигляді візуального образу в свідомості тестувальника). Зображення для експерименту були підібрані так, щоб вони містили текстурні області різних класів – трави, водойми, ліса, поля і т.д. На рис. 1 - 5 представлені результати роботи програми сегментації текстурних областей за статистичними ознаками.

Обробка зображень здійснювалася на основі застосування функцій текстурних фільтрів *entropyfilt*, *rangefilt*, *stdfilt*, взятих з бібліотеки функцій системи *Matlab*, а також сформованого набору ознак ентропії, яркості і однородності, а саме *entropy*, *brightness* і *uniformity*. Після завантаження зображення в систему *Matlab* за допомогою функції *imread* (рис. 1) здійснюється перетворення вхідного кольорового зображення в полутонове (рис. 2).

Для виконання етапу підготовки була застосована функція *imadjust* – вирівнювання гистограм зображення (рис. 3).

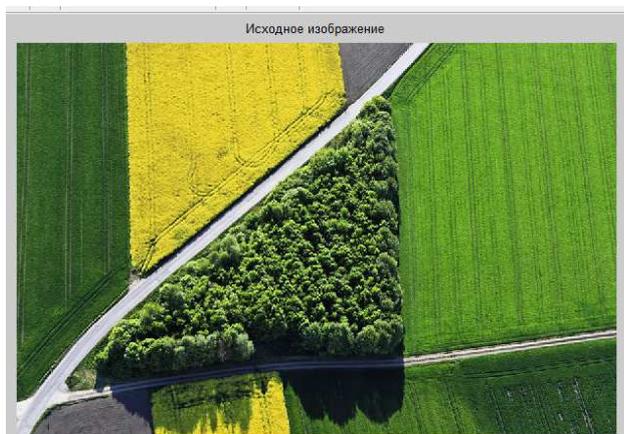


Рис. 1. Исходное полноцветное изображение, загруженное в подсистему предобработки изображений



Рис. 2. Исходное изображение после преобразования в полутоновое

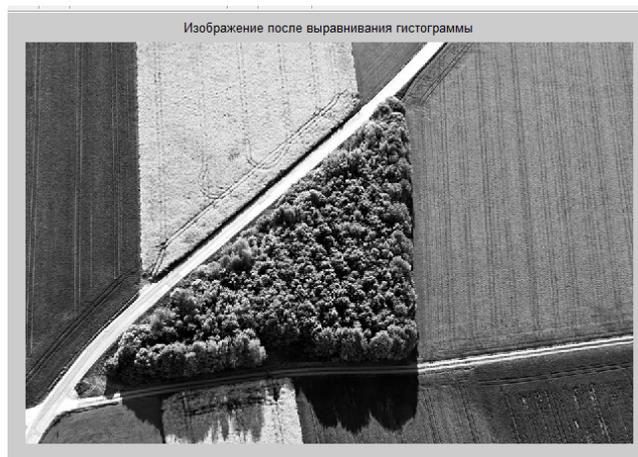


Рис. 3. Полутоновое изображение после предобработки

Функция вирівнювання гистограми зображення покращує контраст зображення за допомогою перетворення значень пікселів вихідного зображення таким чином, щоб гистограма яркостей пікселів результуючого зображення приблизно співпадала з деякою передзаданою гистограмою.

Далі автори виділили текстурні області за значеннями ентропії за допомогою *entropyfilt* (рис. 4). Функція  $J = \text{entropyfilt}(I)$  повертає масив  $J$ , де кожен піксель містить значення ентропії локальної околиці з розмірами  $9 \times 9$  елементів з центром у відповідному пікселі вихідного зображення  $I$ . Коли масив  $I$  має більше, ніж два розмірності, функція *entropyfilt* інтерпретує його як багатовимірне яркостне зображення. Результат, який представлений у вигляді масиву, має ту ж розмірність, що і масив вихідного зображення.



Рис. 4. Изображение после выделения текстурных областей по значениям энтропии

В процессе исследований был применен ряд процедур выделения областей изображения с заданными значениями энтропии (функции `entropyfilt`, `rangefilt`, `im2bw`, `bwareaopen`, `imclose`, `imfill`). После чего выделенные программой области были околонтурены с помощью функций `hold on`, `bwboundaries`, `plot` (рис. 5).

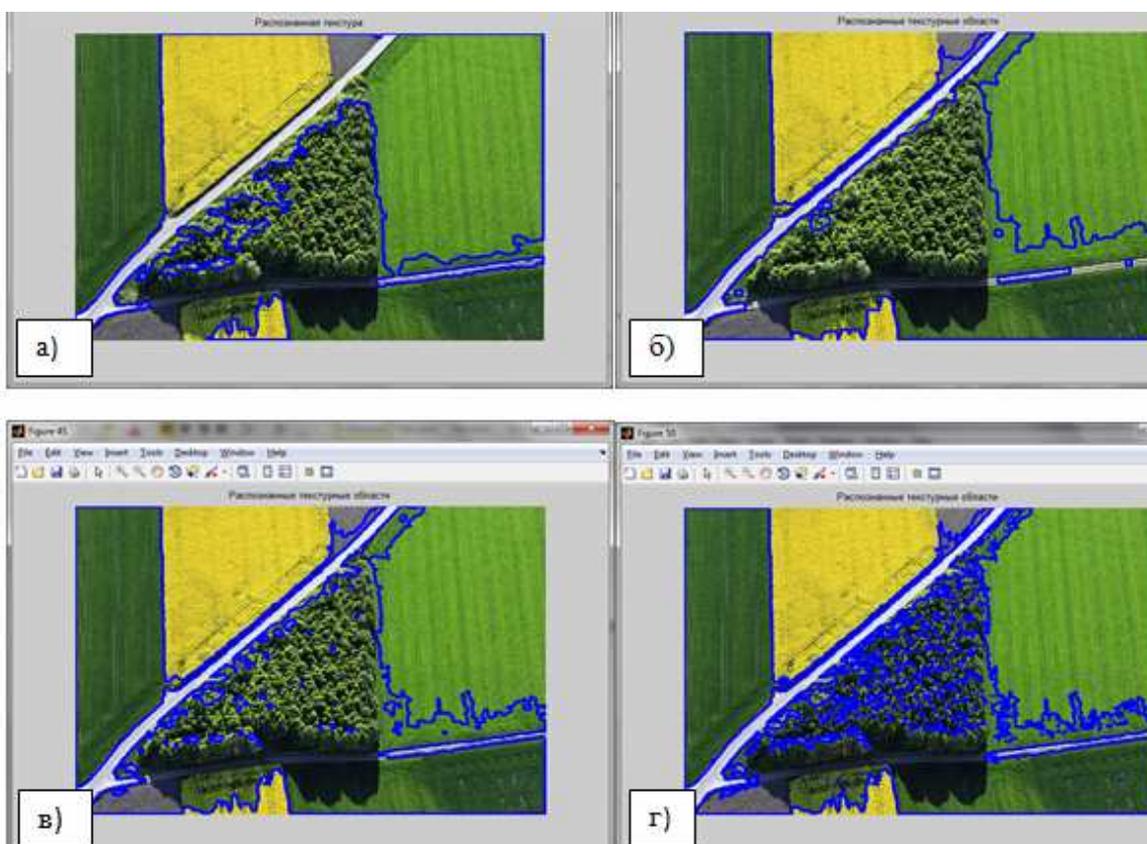


Рис. 5. Изображения с сегментированными околонтурными областями: а – изображение после сегментации по признаку энтропии; б – изображение после сегментации по значениям яркости; в – изображение после сегментации по признаку однородности; г – изображение после сегментации по трем признакам – энтропии, яркости, однородности

Анализ изображений (рис. 5, а-г) показывает, что наиболее точный результат сегментации текстурных областей получается в результате совместного применения трех признаков (рис. 5, г). Сегментация только по одному признаку текстурной области

приводит к менее точным результатам (рис. 5, а-в). Однако для получения наиболее эффективной сегментации применен признак  $P_S$ , основанный на спектральных свойствах текстурных областей. Оценка

эффективности метода сегментации текстурных областей, близких по значениям цвета и структуре, была реализована классическим методом тестирования путем визуальной оценки точности и достоверности сегментации ряда изображений, содержащих текстурные области. Для оценки визуальной точности сегментации были использованы 200 изображений. При этом выделены три варианта результатов сегментации – недосегментация, пересегментация, нормальная сегментация.

Был произведен экспериментальный расчет и анализ точности сегментации и коэффициента достоверности, коэффициента ошибки пропуска и ошибки ложных областей. Результаты тестирования показали, что среднее значение точности сегментации

$T_s$  составило 0,91, среднее значение достоверности  $D_s$  составило 0,89, коэффициент пропущенных областей – 0,15, коэффициент ложных областей 0,17, что превышает значение вероятности правильного распознавания 0,86 – 0,90 – метода.

Проведенный ряд экспериментов выбора признаков областей для сегментации показал, что количество признаков влияет на эффективность сегментации. В таблице 1 представлены значения показателей эффективности сегментации текстурных областей в зависимости от количества используемых признаков для сегментации текстурных областей.

Таблица 1

**Значения показателей эффективности сегментации областей в зависимости от количества признаков**

Признаки области	Количество признаков	Точность сегментации	Достоверность сегментации	Коэффициент пропущенных областей	Коэффициент ложных областей
Энтропия	1	0,66	0,57	0,35	0,39
Яркость	1	0,73	0,64	0,34	0,28
Однородность	1	0,77	0,75	0,39	0,43
Энтропия+ яркость+ однородность	3	0,86	0,83	0,21	0,19
Энтропия+ яркость+ однородность + $P_s$	4	0,91	0,89	0,15	0,17

Значение ошибок пропуска искомых областей зависит от значений отклонений заданных признаков поиска области. Большая ошибка в отклонении при задании диапазона значений признаков приведет к пропуску искомых областей, а также к сегментации ложных областей. Соответственно при задании диапазонов значений признаков необходимо добиваться максимальной точности. Достоинством программной реализации является низкая стоимость и простота, однако необходимо учитывать, что универсальные вычислительные системы выполняют одновременно множество других задач, что существенно снижает ее эффективность и ограничивает возможность распараллеливания операций.

#### Выводы

В статье рассмотрен метод оценки эффективности сегментации текстурных информативных областей изображений, близких по значениям цвета и структуре.

На основании экспериментальных данных был произведен расчет и анализ точности сегментации, коэффициента достоверности, ошибок пропуска и ложных областей. Проведенные исследования показали, что разработанный подход позволяет с высокой эффективностью решать поставленную задачу.

#### Список использованных источников

1. Wang, Y. A New Image Threshold Segmentation based on Fuzzy Entropy and Improved Intelligent Optimization Algorithm [Text] // Journal of Multimedia, Vol. 9, NO. 4, APRIL 2014 – P. 499-505.
2. Farogue, M.Y., Raean, M.S. Latest trends on image segmentation schemes [Text] // International journal of advanced research in computer science and software engineering, – 2014, 4 (10), – P. 792-797.
3. Абламейко, С. В. Обработка изображений: технология, методы, применение [Текст] / С. В. Абламейко, Д. М. Лагуновский. – Минск :

- Ин-т технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.
4. Коваленко, Т. В. Модели и методы обработки цифровых текстурных изображений в системах аэрокосмического мониторинга [Текст] / Т. В. Коваленко // Наукові праці : наук.-метод. журнал. – Миколаїв : ЧДУ ім. П. Могили, 2016. – Вип. 275. Т.287. Комп'ютерні технології. – С. 132-137.
  5. Коваленко, Т. В. Метод оцінки якості сегментації цифрових зображень в системах аэрокосмічного моніторингу [Текст] / Т. В. Коваленко // Проблеми інформаційних технологій. – Херсон: ХНТУ, 2017. – № 01 (21) травень. – С. 29-34.
  6. Segmentation of the images obtained from onboard optoelectronic surveillance systems by the evolutionary method [Text] / I. Ruban, N. Khudov, V. Khudov, I. Khizhnyak, O. Makoveichuk // EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 5/9 (89). – P. 49-57.

**Іванюк О.І., Коваленко Т.В. Метод оцінки ефективності сегментації текстурних областей зображення.** Дистанційне зондування земної поверхні забезпечує унікальні можливості оперативного збору даних з високим просторовим, спектральним і часовим розділенням. При цьому автоматизована обробка зображень в реальному масштабі часу дозволяє ефективно вирішувати наукові та прикладні завдання у галузі картографії, дослідження природного середовища, океанології, пошуку і освоєння корисних копалин і в багатьох інших галузях. Стаття присвячена розробці методу оцінки ефективності сегментації текстур інформативних областей зображень, близьких за кольором і структурою, отриманих в результаті аерофотозйомки. Вхідними параметрами є аерофотознімок, апріорні відомості про області, які потрібно сегментувати, і метеорологічні і навігаційно-технічні умови аерофотозйомки. Вихідними параметрами є зображення з локалізованими інформативними областями.

**Ключові слова:** зображення, текстура, піксель, аерофотозображення, цифрова матриця, моделі текстур, інформаційна система, метод, сегментація, ефективність

**O.I. Ivaniuk, T.V. Kovalenko. Method of estimation the efficiency of image segmentation.** The article is devoted to the development of a method for evaluating the efficiency of segmentation of textual informative image areas, similar in color and structure, obtained as a result of aerial photography. Remote sensing of the Earth's surface provides unique opportunities for rapid acquisition of data with high spatial, spectral and temporal resolution. This fact determines the great information potential of such systems. Automated image processing of the Earth's surface allows us to solve scientific and applied problems in the field of cartography,

research of the natural environment, oceanology, mineral exploration and development, agriculture and forestry and many other areas effectively. For example, the thematic classification of soil and vegetation cover based on aerospace survey data is a necessary stage of most tasks of landscape-ecological mapping.

The article deals with models and methods for describing digital textural images. The current state of automated image processing in air monitoring systems is reviewed. The concept of a model of a textural image is defined. For the mathematical description of textures, two main approaches are used: structural and statistical. The first approach describes the basic areas of textures and the spatial relationships between them, which is well suited for describing artificial and regular textures. According to the second approach, the quantitative and statistical distribution of pixel intensity values in the image area is used as the texture description. Three main ways of image segmentation are considered in the article: threshold segmentation, segmentation by scaling up areas and segmentation by the boundaries detachment. Threshold segmentation consists in combining the image regions which are similar by characteristics into a small number of segments. If the brightness exceeds the threshold, then the region is assigned to one segment, and to another one in the opposite case. A review of existing methods for segmentation of textured image areas allowed us to formulate requirements for image processing algorithms for the operative processing of visual data in aerospace monitoring systems. The input parameters are an aerial photograph, a priori information about the areas to be segmented, and meteorological and navigation-technical conditions for aerial photography. Output parameters are images with localized informative areas.

**Keywords:** image, texture, pixel, aerial image, digital matrix, texture models, information system, method, segmentation, efficiency.

*Надійшла 04.01.2018 р.*

**Іванюк Олександр Ігорович,** аспірант кафедри інформаційних технологій, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. E-mail: [ivaniuk@kart.edu.ua](mailto:ivaniuk@kart.edu.ua), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4007-2215>

**Коваленко Тарас Васильович,** молодший науковий співробітник, Інститут проблем реєстрації інформації НАНУ, м. Київ. E-mail: [tarasvkovalenko@gmail.com](mailto:tarasvkovalenko@gmail.com), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3201-2124>

**Oleksandr Ivaniuk,** postgraduate of Department of Information Technology, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [ivaniuk@kart.edu.ua](mailto:ivaniuk@kart.edu.ua), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4007-2215>

**Taras Kovalenko,** junior researcher, Institute for information recording of NAS of Ukraine, Kiev. E-mail: [tarasvkovalenko@gmail.com](mailto:tarasvkovalenko@gmail.com), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3201-2124>